

## הוראות לדף הנוסחאות



### הוראות הדפסה!

את הדף יש להדפיס עם שוליים מותאמות אישית ברוחב 0.5 בכל צד.

ב WORD, יש לבחור בלשונית הדפסה את חלון השולים, לבחור שולים מותאמים אישית ולשנות ל 0.5 בכל הכיוונים

### עריכה:

בדף הכנסנו כמה שיותר הסברים, נוסחאות ותמונות. אם מספר העמודים חורג ממספר העמודים המותר בבחינה ניתן לערוך את קובץ ה WORD ולהוריד הסברים מורחבים, תמונות או נוסחאות טריוויאליות. ניתן גם כמובן להוסיף הסברים שלכם או נוסחאות. בכל מקרה מומלץ מאוד לעבור על הדף לפני המבחן!! הוא גם סיכום של החומר. אין להוריד את הסמל של GOOL או כל סימן מסחרי אחר!!

### מבנה הדף:



הדף בנוי משלושה טורים. ההתחלה היא בפניה הימנית העליונה. בסוף הטור הראשון עוברים לטור השני באותו עמוד (ולא לעמוד הבא). בסוף הטור האחרון עוברים לטור הראשון (הימני) בעמוד הבא. ניתן לשנות את כיוון הפריסה לרוחב, זה יוצר מראה יותר מרווח על חשבון מספר עמודים.

כל הזכויות שמורות למני גבאי ולאתר GOOL

הדף מיועד לכל שימוש שאינו מסחרי ובפרט לשימוש מרצים, מורים, סטודנטים ותלמידים בקורסים שונים, ניתן לערוך את הדף אך יש להשאיר סימונים של אתר גול.

**פנילה חופשית זריקה אנכית**

תנועה בתאוצה קבועה  $g$  כלפי מטה, נבחר את ציר התנועה להיות ציר ה-Y, ולכן משוואות התנועה הן:

$$y(t) = y_0 + v_0(t - t_0) + \frac{1}{2}a(t - t_0)^2$$

$$v(t) = v_0 + a(t - t_0)$$

$$v_f^2 = v_i^2 + 2a(y_f - y_i)$$

- **בפנילה חופשית** הגוף מתחיל ממנוחה ולכן  $v_0 = 0$  בדרי"כ נבחר לפתור באופן הבא:

1. כיוון הציר החיובי יהיה כלפי מטה ואז  $a = g$  (במשוואות הנ"ל).

2. נבחר את הראשית בנקודת ההתחלה ואז  $y_0 = 0$  - **זריקה אנכית**: יש לגוף מהירות התחלתית כלפי מעלה או מטה. התנועה היא בתאוצה קבועה  $g$  כלפי מטה (כמו פנילה חופשית) ומשוואות התנועה זהות.

עדיף לבחור את הכיוון החיובי כלפי מעלה ואז  $a = -g$ , המהירות ההתחלתית תהיה חיובית אם היא כלפי מעלה ושלילית אם היא כלפי מטה.

- מומלץ לבחור את הראשית בקרקע.

- **שיא גובה** כאשר  $v(t) = 0$  הצבה במשוואה נותנת בשיא גובה  $h$ :  $t_{\text{שיא גובה}} = \frac{v_0}{g}$ ;  $h = \frac{v_0^2}{2g}$

**קטור המיקום**

$$\vec{r} = x\hat{x} + y\hat{y} = (x, y)$$

$$\Delta\vec{r} = \Delta x\hat{x} + \Delta y\hat{y} = (\Delta x, \Delta y)$$

$$\vec{v}_{\text{avg}} = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}$$

זריקה משופעת (ואופקית): הגוף נורק במהירות התחלתית  $v_0$  בזווית  $\theta$  (באופקית הזווית אפס).

- **נפריד לתנועה במהירות קבועה בציר X ותנועה בתאוצה קבועה בציר Y (זריקה אנכית)**. משוואות התנועה יהיו:

$$x(t) = x_0 + v_0 \cos(\theta)t; \quad v_x(t) = v_0 \cos(\theta)$$

$$y(t) = y_0 + v_0 \sin(\theta)t + \frac{1}{2}a_y t^2$$

$$v_y(t) = v_0 \sin(\theta) + a_y t$$

- אם נבחר כיוון חיובי בציר Y כלפי מעלה או  $a_y = -g$  תיתכן תאוצה גם בציר ה-X לדוגמה במקרה של רוח אופקית ואז צריך לשנות את הנוסחאות בציר X לנוסחאות של תאוצה קבועה.

- **שיא גובה** ( $v_y(t) = 0$ ):  $t_{\text{שיא גובה}} = \frac{v_0 \sin(\theta)}{g}$

$$h = \frac{(v_0 \sin(\theta))^2}{2g}$$

$$v_{\text{שיא גובה}} = v_0 + \frac{(v_0 \sin(\theta))^2}{2g}$$

- **טווח** (בהנחה שהזריקה מהקרקע):  $R = \frac{v_0^2 \sin(2\theta)}{g}$

- טווח מקסימלי בזווית 45 מעלות

- **משוואת המסלול**: משוואה של  $y(x)$ . על מנת למצא משוואת מסלול מבודדים את  $t$  מהביטוי של  $x(t)$  ומציבים ב-  $y(t)$ .

**תנועה יחסית**

$$\vec{r}_{1,2} = \vec{r}_1 - \vec{r}_2$$

נוסחה למיקום היחסי: הם וקטורי המיקום של גוף 1 ו-2 ביחס למעבדה/קרקע.  $\vec{r}_{1,2}$  הוא המיקום של גוף 1 ביחס לגוף 2 (כלומר המיקום של גוף 1 ביחס לראשית צירים הנמצאת על גוף 2)

כני"ל לגבי המהירות היחסית והתאוצה היחסית:

$$\vec{v}_{1,2} = \vec{v}_1 - \vec{v}_2; \quad \vec{a}_{1,2} = \vec{a}_1 - \vec{a}_2$$

**דינמיקה - חוק I ו-II של ניוטון**

החוק הראשון של ניוטון: אם גוף נע במהירות קבועה **בין ישר** (או במנוחה) אז סכום הכוחות עליו מתאפס ולהפך.

החוק השלישי של ניוטון: לכל כוח שגוף אחד מפעיל על גוף שני (כוח פעולה) הגוף השני חייב להפעיל כוח בחזרה (כוח תגובה) השווה בגודלו והפוך בכיוונו.

- שימו לב!! הכוחות פועלים על שני גופים שונים ולכן לא יהיו באותו תיכונים כוחות.

**תיכוד סטטי**: פועל כאשר הגוף במנוחה (ביחס למשטח המגע). כיוונו מנוגד לכיוון שקול הכוחות.

- גודלו משתנה בהתאם לכוחות הפועלים.

$$f_s \leq \mu_s N \quad \text{או} \quad f_{s,max} = \mu_s N$$

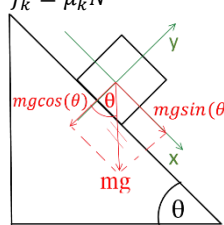
**תיכוד קינטי**: פועל כאשר הגוף בתנועה (ביחס למשטח המגע). גודלו קבוע (אינו תלוי במהירות או בכוחות האחרים בניגוד לטטי) ושווה ל:

$$f_k = \mu_k N$$

**המישור המשופע**: בבעיות עם מישור משופע מומלץ לבחור מערכת צירים כך שציר X מקביל למישור וציר Y מאונך.

הרכיב של  $mg$  במקביל למישור יהיה  $mg \sin(\theta)$  ובמאונך למישור  $mg \cos(\theta)$ .

שימו לב לסימנים בהתאם לכיוון הצירים.



נוסחה נוספת המקשרת בין המהירות למיקום (ללא תלות בזמן): **בתאוצה קבועה**:  $v_f^2 = v_i^2 + 2a(x_f - x_i)$

**גרפים**: התאוצה היא השיפוע בגרף של המהירות כתלות בזמן. השטח מתחת לגרף של התאוצה כתלות בזמן שווה לשינוי המהירות.

הגרף של המיקום כתלות בזמן בתאוצה קבועה הוא פרבולה. תאוצה חיובית פרבולה מחייכת, תאוצה שלילית פרבולה עמובה.

המהירות היא נגזרת של המיקום לפי הזמן והמיקום הוא אינטגרל על המהירות לפי הזמן:

$$v(t) = \frac{dx}{dt}; \quad x(t) = \int v(t) dt$$

**התאוצה היא נגזרת של המהירות והמהירות היא אינטגרל על התאוצה**:  $a(t) = \frac{dv}{dt}; \quad v(t) = \int a(t) dt$

- כשעושים אינטגרל צריך להוסיף קבוע, את הקבוע מוצאים מתנאי התחלה.

**נגזרות של סינוס וקוסינוס**:  $(\cos x)' = -\sin x; \quad (\sin x)' = \cos x$

**קטורים**

פירוק לרכיבים:  $A_y = |\vec{A}| \sin \theta$ ;  $A_x = |\vec{A}| \cos \theta$

$$|\vec{A}| = \sqrt{A_x^2 + A_y^2}; \quad \tan \theta = \frac{A_y}{A_x}$$

חיבור וקטורים: **בצורה גרפית נצימד ראש לזנב**. וקטור הסכום יהיה וקטור מהזנב הראשון לראש הווקטור האחרון.

**תמיד ניתן להזיז וקטור במרחב כל עוד שומרים על האורך והכיוון שלו**.

- **בצורה אלגברית** נסכום את הרכיבים:  $\vec{A} + \vec{B} = (A_x + B_x, A_y + B_y)$

- **בצורה פולרית**, נפרק לרכיבים ונסכום. **כפל/חלוקה בסקלר**: בצורה אלגברית, נכפיל/נחלק כל רכיב בסקלר:  $\vec{B} = \alpha \vec{A} = (\alpha A_x, \alpha A_y)$

- בצורה פולרית, נכפיל/נחלק את הגודל בסקלר (הכיוון לא משתנה אלא אם הסקלר שלילי ואז הכיוון מתהפך) **מכפלה סקלרית בין שני וקטורים**:

$$\vec{A} \cdot \vec{B} = A_x \cdot B_x + A_y \cdot B_y + A_z \cdot B_z = |\vec{A}| |\vec{B}| \cos \alpha$$

- תוצאת המכפלה היא תמיד סקלר (ולא וקטור) - מכפלה סקלרית של וקטורים מאונכים מתאפסת. נוסחה למציאת זווית בין וקטורים:

$$\cos \alpha = \frac{A_x B_x + A_y B_y + A_z B_z}{|\vec{A}| \cdot |\vec{B}|}$$

**וקטור יחידה**: וקטור בשלושה מימדים:  $0 \leq \varphi \leq \pi$ ;  $0 \leq \theta \leq 2\pi$

$$\tan \theta = \frac{A_y}{A_x}$$

הצורה  $\vec{A} = |\vec{A}| (\cos \theta \hat{x} + \sin \theta \hat{y})$  היא הצורה הפולרית של וקטור במישור.

הצורה  $\vec{A} = |\vec{A}| (\cos \varphi \hat{x} + \sin \varphi \hat{z})$  היא הצורה הפולרית של וקטור במישור ה-xz.

הצורה  $\vec{A} = |\vec{A}| (\cos \theta \hat{x} + \sin \theta \sin \varphi \hat{y} + \sin \theta \cos \varphi \hat{z})$  היא הצורה הפולרית של וקטור במרחב 3D.

הצורה  $\vec{A} = |\vec{A}| (\cos \theta \hat{x} + \sin \theta \hat{y})$  היא הצורה הפולרית של וקטור במישור ה-xy.

הצורה  $\vec{A} = |\vec{A}| (\cos \theta \hat{x} + \sin \theta \hat{z})$  היא הצורה הפולרית של וקטור במישור ה-xz.

הצורה  $\vec{A} = |\vec{A}| (\cos \theta \hat{x} + \sin \theta \sin \varphi \hat{y} + \sin \theta \cos \varphi \hat{z})$  היא הצורה הפולרית של וקטור במרחב 3D.

הצורה  $\vec{A} = |\vec{A}| (\cos \theta \hat{x} + \sin \theta \hat{y})$  היא הצורה הפולרית של וקטור במישור ה-xy.

הצורה  $\vec{A} = |\vec{A}| (\cos \theta \hat{x} + \sin \theta \hat{z})$  היא הצורה הפולרית של וקטור במישור ה-xz.

הצורה  $\vec{A} = |\vec{A}| (\cos \theta \hat{x} + \sin \theta \sin \varphi \hat{y} + \sin \theta \cos \varphi \hat{z})$  היא הצורה הפולרית של וקטור במרחב 3D.

הצורה  $\vec{A} = |\vec{A}| (\cos \theta \hat{x} + \sin \theta \hat{y})$  היא הצורה הפולרית של וקטור במישור ה-xy.

הצורה  $\vec{A} = |\vec{A}| (\cos \theta \hat{x} + \sin \theta \hat{z})$  היא הצורה הפולרית של וקטור במישור ה-xz.

הצורה  $\vec{A} = |\vec{A}| (\cos \theta \hat{x} + \sin \theta \sin \varphi \hat{y} + \sin \theta \cos \varphi \hat{z})$  היא הצורה הפולרית של וקטור במרחב 3D.

הצורה  $\vec{A} = |\vec{A}| (\cos \theta \hat{x} + \sin \theta \hat{y})$  היא הצורה הפולרית של וקטור במישור ה-xy.

הצורה  $\vec{A} = |\vec{A}| (\cos \theta \hat{x} + \sin \theta \hat{z})$  היא הצורה הפולרית של וקטור במישור ה-xz.

הצורה  $\vec{A} = |\vec{A}| (\cos \theta \hat{x} + \sin \theta \sin \varphi \hat{y} + \sin \theta \cos \varphi \hat{z})$  היא הצורה הפולרית של וקטור במרחב 3D.

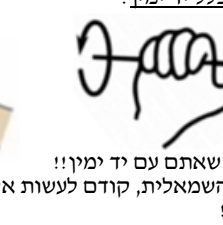
הצורה  $\vec{A} = |\vec{A}| (\cos \theta \hat{x} + \sin \theta \hat{y})$  היא הצורה הפולרית של וקטור במישור ה-xy.

הצורה  $\vec{A} = |\vec{A}| (\cos \theta \hat{x} + \sin \theta \hat{z})$  היא הצורה הפולרית של וקטור במישור ה-xz.

הצורה  $\vec{A} = |\vec{A}| (\cos \theta \hat{x} + \sin \theta \sin \varphi \hat{y} + \sin \theta \cos \varphi \hat{z})$  היא הצורה הפולרית של וקטור במרחב 3D.

הצורה  $\vec{A} = |\vec{A}| (\cos \theta \hat{x} + \sin \theta \hat{y})$  היא הצורה הפולרית של וקטור במישור ה-xy.

הצורה  $\vec{A} = |\vec{A}| (\cos \theta \hat{x} + \sin \theta \hat{z})$  היא הצורה הפולרית של וקטור במישור ה-xz.

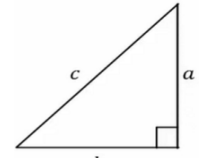


**פונקציות טריגונומטריות**

**ניצב שמול יתר**:  $\sin \alpha = \frac{a}{c}$

**ניצב ליד יתר**:  $\cos \alpha = \frac{b}{c}$

**ניצב שמול ליד ניצב**:  $\tan \alpha = \frac{a}{b}$



$$\sin \alpha = \frac{a}{c}; \quad \cos \alpha = \frac{b}{c}; \quad \tan \alpha = \frac{a}{b}; \quad \cot \alpha = \frac{b}{a}; \quad \frac{1}{\tan \alpha} = \cot \alpha; \quad a^2 + b^2 = c^2$$

$\sin(90^\circ - \alpha) = \cos \alpha$	$\cos(90^\circ - \alpha) = \sin \alpha$	$90^\circ - \alpha$
$\tan(90^\circ - \alpha) = \cot \alpha$	$\cot(90^\circ - \alpha) = \tan \alpha$	
$\sin(90^\circ + \alpha) = \cos \alpha$	$\cos(90^\circ + \alpha) = -\sin \alpha$	$90^\circ + \alpha$
$\tan(90^\circ + \alpha) = -\cot \alpha$	$\cot(90^\circ + \alpha) = -\tan \alpha$	
$\sin(180^\circ - \alpha) = \sin \alpha$	$\cos(180^\circ - \alpha) = -\cos \alpha$	$180^\circ$
$\tan(180^\circ - \alpha) = -\tan \alpha$	$\cot(180^\circ - \alpha) = -\cot \alpha$	$-\alpha$
$\sin(-\alpha) = -\sin \alpha$	$\cos(-\alpha) = \cos \alpha$	$-\alpha$
$\tan(-\alpha) = -\tan \alpha$	$\cot(-\alpha) = -\cot \alpha$	
$\sin 2\alpha = 2 \sin \alpha \cos \alpha$		$2\alpha$
$\cos 2\alpha = \cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha = 1 - 2 \sin^2 \alpha = 2 \cos^2 \alpha - 1$		
$\sin(\alpha \pm \beta) = \sin \alpha \cos \beta \pm \sin \beta \cos \alpha$		$\alpha \pm \beta$
$\cos(\alpha \pm \beta) = \cos \alpha \cos \beta \mp \sin \alpha \sin \beta$		

**משוואת הקו הישר**

**משוואת הקו הישר**:  $y = mx + n$

הישר עם ציר ה-x.  $m = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \tan \alpha$  כאשר  $\alpha$  היא הזווית של הישר עם ציר ה-x.

**מרחק בין שתי נקודות**:  $d^2 = (x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2$

**הפרבולה**

**משוואת הפרבולה**:  $y = ax^2 + bx + c$

חיוב הפרבולה מחייכת, שלילי בוכה. **קודקוד הפרבולה**:  $x_{\text{קודקוד}} = -\frac{b}{2a}$

**נוסחת השורשים**:  $x_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$

**מעברים בין יחידות**:  $1 \text{ km} = 1000 \text{ m}$ ;  $1 \text{ kg} = 1000 \text{ gr}$

**קילו (k) זה 1000**:  $1 \text{ mm} = \frac{1}{1000} \text{ m}$  מילימטר

**מילי (m) זה 1000**:  $1 \text{ mm} = \frac{1}{1000} \text{ m}$  מילימטר

**ומיליגרם (gr) זה 1000**:  $1 \text{ mg} = \frac{1}{1000} \text{ gr}$

**ליטר**:  $1 \text{ liter} = 1000 \text{ cm}^3$

**קוב**:  $1 \text{ קוב} = 1000 \text{ m}^3 = 1000 \text{ liter}$

**שנת אור היא המרחק** שהאור עושה בשנה:  $1 \text{ lightyear} = 9.4608 \cdot 10^{15} \text{ m}$

**מבוא פיזיקלי**

**חוקי חזקות**:  $(ab)^c = a^c b^c$ ;  $a^b a^c = a^{b+c}$

$$(a^b)^c = a^{bc}; \quad \frac{1}{a^b} = a^{-b}$$

**צפיפות**:  $\rho = \frac{M}{V}$ ;  $\sigma = \frac{M}{S}$

**צפיפות נפחית**:  $\rho = \frac{M}{V}$ ;  $\lambda = \frac{M}{l}$

**צפיפות אורכית**:  $\lambda = \frac{M}{l}$

$V, S, l$  הם נפח שטח ואורך הגוף בהתאמה

**תנועה בקו ישר**

**העתק** - השינוי במיקום הגוף:  $\Delta x = x_2 - x_1$

**דבר** - אורך כל המסלול שעשה הגוף, סימון באות S

**מהירות ממוצעת או קבועה**:  $v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$

המיקום כתלות בזמן **במהירות קבועה**:  $x(t) = x_0 + v(t - t_0)$

**גרפים**: גרף המיקום במקרה של תנועה במהירות קבועה יהיה קו ישר. שיפוע הגרף הוא המהירות.

גרף המהירות במקרה של מהירות קבועה הוא קו ישר אופקי.

השטח מתת לגרף המהירות הוא ההעתק, עובדה זו נכונה גם עבור מהירות לא קבועה.

השטח החיובי מתחת לגרף המהירות הוא הדרך.

**תאוצה קבועה או ממוצעת**:  $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$

מהירות כתלות בזמן **בתנועה בתאוצה קבועה**:  $v(t) = v_0 + a(t - t_0)$

כאשר  $v_0$  היא המהירות בזמן  $t_0$  (בדרי"כ רגע תחילת התנועה)

מיקום כתלות בזמן **בתנועה בתאוצה קבועה**:  $x(t) = x_0 + v_0(t - t_0) + \frac{1}{2}a(t - t_0)^2$

כאשר  $x_0$  ו  $v_0$  הן המיקום והמהירות בזמן  $t_0$  (בדרי"כ רגע התחלה)

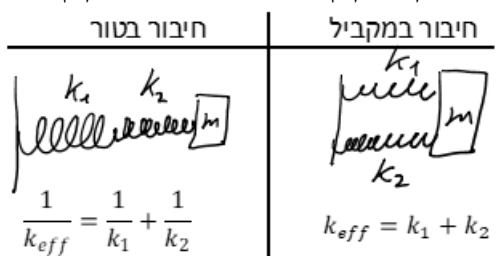
דינמיקה - חוק II של ניוטון

GOOL

חוק II של ניוטון:
גלגל שהשוויון קטורי צריך שיהיה שוויון בכל ציר
בנפרד. כלומר:
בבעיות עם מספר גופים נעשה תרשים כוחות וחוק שני
לכל גוף בנפרד. אח"כ נוסיף את הקשר בין התאוצות של
הגופים.

GOOL

חוק הוק - הכוח שמפעיל קפיץ:
- התארכות ממצב הרפוי של הקפיץ (מסומן גם ב Δl)
- הוא קבוע הקפיץ ותלוי בחומר ממנו עשוי הקפיץ



GOOL

עבודה שמבצע כוח קבוע או כוח ממוצע:

כאשר α היא הזווית בין הכוח להעתק
כוח שפועל במאונך לתנועה (למהירות) אינו מבצע עבודה.
- אם הגוף לא נע העבודה אפס (לכן חיכוך סטטי אינו
מבצע עבודה).

אנרגיה קינטית:
העבודה הכוללת (כולל הכוחות המשמרים) שווה לשינוי
באנרגיה קינטית:
האנרגיה הפוטנציאלית האלסטית (האנרגיה של קפיץ):

k הוא קבוע הקפיץ
Δx היא התארכות מהמצב הרפוי (לפעמים מסומן ב Δl)
האנרגיה הכללית היא האנרגיה הקינטית של הגוף ועוד סך
כל האנרגיות הפוטנציאליות:

\*בשוויון השני שממנו את האנרגיה הפוטנציאלית הכובדית
והאלסטית. תיאורטית יכולות להיות עוד אנרגיות
פוטנציאליות אבל זה מאוד נדיר בקורס הזה.

משפט עבודה אנרגיה:
E\_f - E\_i הם האנרגיות הכלליות בהתחלה ובסוף.
W\_NC היא העבודה שנעשתה על ידי הכוחות הלא משמרים
בתהליך שבין נקודת ההתחלה לסוף.



נוסחה לשינוי גובה של
מטוטלת:
הגובה מהתחתית
- אורך החוט
- זווית ביחס לאנך
מהתקרה.
חום (Q):
האנרגיה
הנוצרת מחיכוך קינטי.
- כמות החום שנוצרת
בתהליך שווה לעבודה של
כוח החיכוך הקינטי (והפוכה בסימן), כי העבודה שמבצע
החיכוך הקינטי על הגוף (שליילת)
- ניתן לחשב את החום שנוצר גם מהשינוי באנרגיה
הכללית של הגוף.

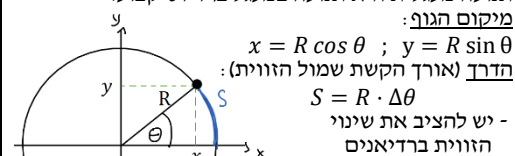
האנרגיה הפוטנציאלית הכובדית:
U\_g = mgh
h זה הגובה של הגוף. ניתן לבחור גובה אפס איפה שרוצים.
העבודה שמבצע כוח הכובד שווה למינוס השינוי באנרגיה
הפוטנציאלית הכובדית:
W\_g = -ΔU\_g

הספק (P):
העבודה שנעשית ביחידת זמן.
ההספק של כוח קבוע או הספק ממוצע:
P = W/Δt
היחידה הסטנדרטית של הספק היא Watt (W) והיא שווה
לגואל חלקי שנייה.

יחידת נוספת היא כוח סוס (Hp):
1 Hp = 746 Watt
נוסחה נוספת להספק:
P = F · v
בנוסחה יש מכפלה סקלרית של הכוח במהירות הגוף.
- הנוסחה נכונה גם להספק רגעי (ולא רק להספק ממוצע
או קבוע)

GOOL

תנועה מעגלית היא תנועה במעגל ברדיוס קבוע.



המהירות הזוויתית היא קב
שינוי הזווית בזמן.
מהירות זוויתית קבועה או ממוצעת:

(ביחידות של רדיאן לשנייה)
ω = Δθ/Δt = 2πf = 2π/T
f היא התדירות (יחידות הרץ או 1/sec). זמן מחזור.
הקשר בין המהירות הזוויתית למהירות הקווית (נכון גם
למהירויות שאינן קבועות):
|v| = ωR
תאוצה רדיאלית (למרכז המעגל):
a\_r = v^2/R = ω^2R
סכום הכוחות למרכז המעגל:

בביתגלים, נבחר מערכת צירים כך שכיוון ציר X
למרכז המעגל וציר Y מאונך לו. בציר X נשתמש בנוסחה
של סכום הכוחות למרכז המעגל ובציר Y סכום הכוחות
שווה לאפס (בתנועה שבה גדול המהירות קבוע).
- אם גדול המהירות אינו קבועה (תנועה לא קבועה) אז
ישנה גם תאוצה משיקית. התאוצה המשיקית שווה לשינוי
גדול המהירות בזמן (בדיוק כמו תאוצה רגילה בתנועה בקו
ישר).

עבור תאוצה משיקית קבועה או ממוצעת:
a\_θ = Δv/Δt
סכום הכוחות בכיוון המשיק (ציר Y) יהיה:
ΣF\_θ = ma\_θ
GOOL מתקף תנוע

המתקף שמפעיל כוח קבוע או ממוצע על גוף:
j = F · Δt
התנגשות אלסטית:
התנגשות שבה האנרגיה הקינטית
נשמרת. נוסף למשוואת שימור התנע את משוואת שימור
האנרגיה:
1/2 m1 v1^2 + 1/2 m2 v2^2 = 1/2 m1 u1^2 + 1/2 m2 u2^2
בהתנגשות אלסטית במימד אחד (מצחיית) בלבד, ניתן
להחליף את משוואת שימור האנרגיה במשוואה הבאה:
v1 - v2 = -(u1 - u2)
התנגשות פלסטית:
הגופים נעים יחד אחרי ההתנגשות.
משוואת שימור התנע הופכת ל-
m1v1 + m2v2 = (m1 + m2)u
- u היא המהירות המשותפת לאחר ההתנגשות
- הגופים נעים יחד לפני ההתנגשות.
משוואת שימור התנע הופכת ל-

התנגשות פלסטית ורתע הן אף פעם לא התנגשויות
אלסטיות! כלומר לא יכול להתקיים שימור אנרגיה
בהתנגשויות האלו.
שימו לב שקיימות התנגשויות שהן לא אלסטיות ולא
פלסטיות (ססת התנגשויות) בהן יש רק את משוואת שימור
התנע הרגילה.
- הערה: בספרים מסוימים השם התנגשות אלסטית
מתייחס להתנגשות רגילה שהיא לא פלסטית ואין בה
שימור אנרגיה. להתנגשות שיש בה גם שימור אנרגיה
קוראים התנגשות אלסטית לחלוטין.
התנגשות אלסטית במנוחה:
במקרה זה כל האנרגיה עוברת
מהגוף הפוגע לגוף במנוחה. כלומר הגוף הפוגע ייעצר והגוף
שהיה במנוחה ינוע לאחר ההתנגשות במהירות שבו פגע בו
הגוף הראשון.

GOOL

כבידה
החוק השלישי של קפלר:
(T1/T2)^2 = (r1/r2)^3
- r רדיוס הקפה ממוצע של כל גרם שמיים.
- T זמן המחזור של כל גרם שמיים.

גודל כוח הכבידה בין שני גופים:
F = G \* (m1\*m2)/r^2
G = 6.67 \* 10^-11
m - מסות הגופים. r - המרחק בין מרכזי הגופים.
אנרגיה פוטנציאלית כובדית:

M - מסת הגוף המשפיע. m - מסת הגוף המושפע.
r - מרחק בין הגופים.
אנרגיה של לוויין במסלול מעגלי:

קינטית:
E\_k = GMm/2r = -U\_g/2
כוללת:
E = -GMm/2r
GOOL מבנה החומר

גודל אטום המימן (הקטן ביותר):
0.53 \* 10^-10 m
יחידת האנגסטרם:
1 Å = 10^-10 m
פרוטונים מסמנים ב-p נייטרונים ב-n ואלקטרונים ב-e
מסת הפרוטון והניטרון:
m\_n ≈ m\_p = 1.67 \* 10^-27 kg
מסת האלקטרון:
m\_e = 9.1 \* 10^-31 kg
מסת האלקטרון קטנה בערך פי 2000 ממסת הפרוטון וזניחה
ביחס אליו. לכן, בקירוב טוב, הפרוטונים והניטרונים
קובעים את מסת האטום.

מטען האלקטרון:
q\_e = -1.6 \* 10^-19 c

מטען הפרוטון זהה והפוך בסימנו:
q\_p = 1.6 \* 10^-19 c
הניטרון לא מושפע מהכוח החשמלי ולכן אין לו מטען.
המטען החשמלי של כל גוף יהיה חיובי להיות כפולה
שלמה של מטען הפרוטון או האלקטרון.

GOOL הכוח החשמלי - חוק קולון

חוק קולון:
F = k\*q1\*q2/r^2
r - הוא המרחק בין הגופים

קבוע הכוח החשמלי האוניברסלי:
k = 9 \* 10^9 N\*m^2/c^2
הכוח הוא כוח דחיה אם סימן המטענים זהה ומשיכה
אם הסימן הפוך.
- הנוסחה נכונה רק עבור מטענים נקודתיים או כדורים
הטעונים בצורה אחידה. מטען נקודתי הוא גוף שהגודל
שלו קטן בהרבה מ-r, המרחק שבו מחשבים את הכוח.
- הנוסחה נכונה עבור שני מטענים הנמצאים בריק, כאשר
המטענים נמצאים בתוך (לדוגמה מים או שמן) הכוח
משתנה.

GOOL השדה החשמלי

הכוח הפועל על מטען הנמצא בשדה חשמלי E:
F = qE
השדה שיוצר מטען נקודתי בכל המרחב:
E = kq/r^2
r - הוא המרחק מהמטען לנקודה בה מחשבים את השדה.
עקרון הסופרפוזיציה:
השדה השקול בנקודה במרחב הוא
סכום קטורי של כל השדות שיוצרים כל המטענים אותה
נקודה.

קווי שדה:
מתארים איכותית את השדה במרחב. כיוון
השדה בנקודה משיק לקווי השדה וגודלו בהתאם לצפיפות
הקווים.

הקבוע הדיאלקטרי של הריק:
ε\_0 = 1/(4πk) = 8.85 \* 10^-12 C^2/Nm^2
ניתן לרשום את כל הנוסחאות עם k עם ε\_0.
השטף דרך משטח בשדה אחיד:
φ\_E = E · s
רכיב השדה שמאונך למשטח. s הוא שטח המעטפת.
- אם השדה לא אחיד על המשטח ניתן לחלק את המשטח
לחתיכות שבהן השדה אחיד ולסכום את השטף דרך כל
חתיכות.

חוק גאוס:
φ\_E = 4πkQ\_in
- φ\_E שטף דרך משטח סגור.
- Q\_in סך המטען הכלוא בנפח שסוגר המשטח.
השדה של כדור וקליפה כדורית מחוץ לכדור או הקליפה

הוא כמו של מטען נקודתי:
E = kQ/r^2
כאשר Q הוא סך כל המטען. r הוא המרחק ממרכז
הקליפה/כדור.
כיוון השדה הוא בכיוון הרדיאלי (כמו מטען נקי)
- בקליפה דקה ובכדור מוליך השדה בתוך הקליפה/כדור
מוליך הוא אפס.

שדה של כדור מלא ברדיוס R הטעון בצפיפות אחידה:
בכיוון רדיאלי
Q הוא סך המטען של הכדור
r הוא המרחק ממרכז הכדור
E = { kQr/R^3, r < R
kQ/r^2, r > R

הקשר בין סך המטען לצפיפות (אחידה) בכדור מלא:
Q = (4πR^3/3)ρ
שדה של תיל אינסופי (אחיד):
E(r) = 2kλ/r
r מרחק מהתיל. λ - צפיפות מטען ליחידת אורך של
התיל
- כיוון השדה רדיאלי (במאונך לתיל וכלפי חוץ/פנים עבור
מטען חיובי/שלילי).
- שדה של קליפה גלילית מתאפס בתוך הקליפה וכמו של
תיל מחוץ לקליפה.

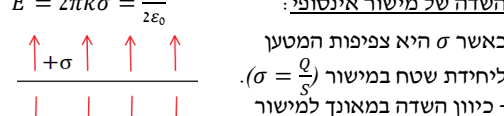
שדה של גליל מלא ברדיוס R הטעון בצפיפות נפחית
אחידה ρ:
(בכיוון רדיאלי)

E = { πkρr, r < R
2πkR^2ρ/r, r > R
השדה של מישור אינסופי:
E = 2πkσ = σ/(2ε\_0)

כאשר σ היא צפיפות המטען
ליחידת שטח במישור (σ = Q/S).
- כיוון השדה במאונך למישור
(החוצה מהמישור עבור מטען
חיובי וכלפי המישור עבור מטען שלילי)
השדה של שני מישורים
אינסופיים עם צפיפות הפוכה
הוא 4πkσ בין המישורים ואפס
מחוץ

GOOL חוק גאוס

צפיפות מטען נפחית ρ, משטחית σ, אורכית λ, אחידה:
ρ = Q/V, σ = Q/S, λ = Q/L



GOOL חוק גאוס

Q - סך המטען שבגוף. V - נפח הגוף. S - שטח. L - אורך.  
**תנועה בשדה חשמלי אחיד**  
 GOOL

אם השדה אחיד אז יש תנועה בתאוצה קבועה. כמו תנועה בליסטית. גודל התאוצה הוא:  
 $a = \frac{qE}{m}$   
 לשדה עבור מטען שלילי  
**מוליכים**  
 GOOL

- במוליך המטענים חופשיים לזוז.  
**השדה מתאפס** (או ליתר דיוק הכוח) בתוך המוליך.  
 על השפה יכול להיות שדה מאונך לשפה.  
**המטען הכולל בתוך המוליך מתאפס למעט על השפה** (במצב סטטי).  
**הפוטנציאל במוליך אחיד** (קבוע).  
 הארקה: חיבור לקרקע, מאפסת את הפוטנציאל.  
**מתח פוטנציאל ואנרגיה של הכוח החשמלי**

הכוח החשמלי הוא כוח משמר ולכן האנרגיה של מטען הנע בהשפעת הכוח החשמלי נשמרת.  
**משוואת שימור אנרגיה:**  
 $\frac{1}{2}mv_f^2 + U_i = \frac{1}{2}mv_i^2 + U_f$   
 $v_f / v_i$  - מהירות הגוף בהתחלה / סוף התנועה.  
 $U_f / U_i$  - האנרגיה הפוטנציאלית בהתחלה / סוף התנועה.  
**אנרגיה פוטנציאלית של שני מטענים נקודתיים** (או האנרגיה פוטנציאלית של מטען נקודתי הנע בהשפעת הכוח החשמלי של מטען נקודתי אחר):  
 $U = \frac{kq_1q_2}{r}$   
 שימו לב להציב גם את סימני המטענים בנוסחה!  
**העבודה שמבצע הכוח החשמלי** שווה למינוס השינוי באנרגיה הפוטנציאלית של המערכת (או המטען שנט):  
 $W_{\text{חשמלי}} = -\Delta U$

**העבודה הדרושה להזיז מטען** היא עבודה שאנחנו מבצעים כנגד הכוח החשמלי ולכן היא מינוס העבודה של הכוח החשמלי ושווה לשינוי האנרגיה הפוטנציאלית (ללא מינוס):  
 $\Delta U = -W_{\text{חשמלי}} = -\int \vec{F} \cdot d\vec{x}$   
**פוטנציאל** הוא אנרגיה ליחידת מטען. הפוטנציאל היא פונקציה מתמטית שאומרת לנו מה תהיה האנרגיה הפוטנציאלית בנקודה מסוימת.  
**האנרגיה של מטען נקודתי הנמצא בנקודה בה הפוטנציאל הוא V:**  
 $U = qV$   
**פונקציית הפוטנציאל שיוצר מטען נקודתי במרחב:**  
 $V = \frac{kq}{r}$   
 r - המרחק מהמטען.

**היחידות הסטנדרטיות של הפוטנציאל** הן וולט [V]. אחד וולט הוא גאול חלקי קולון.  
**ספרופוזיציה:** על מנת לחשב את הפוטנציאל בנקודה במרחב ניתן לחבר את הפוטנציאל שיוצר כל מטען באותה נקודה. החיבור הוא סקלרי ויותר פשוט מחיבור שדות.  
**מתח:** הפרש פוטנציאלים, מסומן ב  $\Delta V$  אבל לפעמים מסומן גם ב V לבד כמו הפוטנציאל, כי פוטנציאל בנקודה הוא גם מתח (הפרש פוטנציאלים) מהאפס.  
**יחידת האלקטרון וולט [eV]:** יחידת של עבודה/אנרגיה. נוחה לעבודה, לדוגמה: האנרגיה של אלקטרון בפוטנציאל 5 וולט היא פשוט 5 אלקטרון וולט.  $1eV = 1.6 \cdot 10^{-19} J$   
**הפרש הפוטנציאלים (או המתח) בשדה אחיד:**  
 $\Delta V = -\vec{E} \cdot \Delta \vec{x} = -|\vec{E}| |\Delta \vec{x}| \cos \alpha$

**פוטנציאל של לוח אינסופי** (כאשר בורחים פוטנציאל אפס על הלוח):  
 $U(x) = -2\pi k\sigma x$   
 $\sigma$  - צפיפות המטען המשטחית על הלוח.  
 x - המרחק מהלוח.  
**פוטנציאל במוליכים קבוע** (אחיד) ושווה לערך על השפה (לא בהכרח אפס).  
**הפוטנציאל של כדור מוליך בכל המרחב:**  
 $V(r) = \begin{cases} \frac{kQ}{R}, & r \leq R \\ \frac{kQ}{r}, & r \geq R \end{cases}$   
 Q - סך המטען של הכדור  
 R - רדיוס הכדור  
 r - המרחק ממרכז הכדור  
 שימו לב שהפוטנציאל בתוך הכדור אינו תלוי במרחק (קבוע).  
**הפוטנציאל של כדור"א**: כדור"א הוא כדור מוליך מאוד גדול,  $R = \infty$  ולכן הפוטנציאל אפס.  
**חיבור של שני מוליכים בחוט מוליך:** מאלץ את הפוטנציאלים שלהם להיות שווים (מטען יזרום ממוליך אחד לשני עד השוואת הפוטנציאלים).  
**הארקה:** חיבור מוליך לכדור"א, מאלץ את הפוטנציאל של המוליך להיות אפס (כמו כדור"א).  
**חישוב אנרגיה פוטנציאלית של מערכת שלמה** (העבודה הדרושה לבניית המערכת):

- דרך 1: נסכום את העבודות להביא את המטענים אחד אחרי השני. עבור המטען הראשון, העבודה היא אפס (כי אין אף מטען אחד במרחב שיוצר פוטנציאל). עבור המטען השני, העבודה לקרב אותו למטען הראשון\*. עבור המטען השלישי העבודה לקרב לשני המטענים\*\*, וכן הלאה. במקרה של שלושה מטענים החישוב הוא:  
 $W = 0 + q_2 \left( \frac{kq_1}{r_{12}} + \frac{kq_2}{r_{23}} \right) + q_3 \left( \frac{kq_1}{r_{13}} + \frac{kq_2}{r_{23}} \right)$   
 \* דרך 2: נסכום את האנרגיה של כל זוג מטענים במערכת. במקרה של שלושה מטענים:

$$W = \frac{kq_1q_2}{r_{12}} + \frac{kq_1q_3}{r_{13}} + \frac{kq_2q_3}{r_{23}}$$

**אנרגיה הדרושה לבניית מערכת**  
 GOOL

הסכום הוא על כל המטענים כפול הפוטנציאל שהם נמצאים בו.  
**זרם מתח והתנגדות**  
 GOOL

הזרם הוא כמות המטען שעוברת ביחידת זמן  
**חישוב זרם קבוע או ממוצע:**  
 $I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$   
 I הוא סקלר אבל כיוון הזרם נקבע לפי כיוון תנועת המטענים החיוביים.

- היחידות הסטנדרטיות של זרם הם אמפר  $1A = 1C/sec$   
 - בגרף של  $I(t)$  סך המטען שעבר הוא השטח מתחת לגרף.  
 - בגרף של  $q(t)$  שיפוע הגרף שווה לזרם. **אם הגרף לינארי ניתן לרשום:**  
 $q(t) = I \cdot \Delta t + q_0$   
**מהירות סחיפה:**  
 $I = n_e A q_e v_d$   
 -  $n_e$  - מספר האלקטרונים ליחידת נפח.  
 -  $A$  - שטח חתך של המוליך.  $q_e$  - מטען האלקטרון.  
 -  $v_d$  - מהירות הסחיפה (מהירות ממוצעת של האלק' במוליך)

**מהירות האות החשמלי** היא המהירות שבה ההשפעה של שינוי במקום אחד במעגל מגיעה למקום אחר (לדוגמה, המהירות שבה תידלק נורה כתוצאה מהדלקה של מתג). מהירות האות החשמלי היא מהירות האור והיא גדולה בהרבה ממהירות הסחיפה.  
 מקור מתח מבצע עבודה במעגל חשמלי סגור וגורם לתנועה של המטענים(זרם). **המקור אינו מוסיף מטענים** למעגל.  
**חוק אוהם:**  
 $V = IR$   
 V - מתח על הרכיב. I - זרם ברכיב. R - התנגדות הרכיב. **נגד:** מוליך שההתנגדות שלו גדולה בהרבה מן החוטים.

**תלות ההתנגדות במבנה הנגד:**  
 $R = \frac{l}{A} \cdot \rho$   
 l - אורך הנגד (הדרך שהמטענים עושים בנגד).  
 A - שטח חתך, שטח בנגד המאונך לכיוון הזרם.  
 $\rho$  - התנגדות סגולית, תכונה שתלויה בסוג החומר ובטמפרטורה ונתונה בטבלאות.  
**ההתנגדות של נגד משתנה:**  
 $R(x) = \rho \cdot \frac{x}{A} = rx$   
 כאשר x הוא אורך הנגד (המשתנה)  
 r - התנגדות ליחידת אורך (בדרך קבוע) ביחידות של אוהם למטר.

**כא"מ ומתח הדקים בסוללה לא אידיאלית:**  
 $\epsilon = V + Ir$   
 $\epsilon$  - כא"מ, המתח המקסימאלי של הסוללה.  
 V - מתח הדקים. r - התנגדות פנימית. I - זרם בסוללה.  
**נוסחה נוספת למתח הדקים עם ההתנגדות השקולה ( $R_T$ ) וללא הזרם:**  
 $V_{\text{הדקים}} = \frac{\epsilon R_T}{R_T + r}$

**עבודה אנרגיה והספק ברכיבים במעגל**  
 GOOL

העבודה שמתבצעת על מטען q שעובר בנגד תחת מתח V היא:  
 $W = qV = Q$   
 כאשר Q זה החום שנוצר בנגד.  
**הספק קבוע או ממוצע:**  
 $P = \frac{W}{\Delta t}$   
 W - העבודה שהתבצעה במרווח הזמן  $\Delta t$   
 - היחידות הסטנדרטיות של הספק הן וואט:  $1W = 1J/sec$   
**נוסחה נוספת להספק שנכונה גם להספק רגעי:**  
 $P = IV = I^2R = V^2/R$   
 (עם R נכונים רק לנגד.)

**חיבור נגדים במעגל**  
 GOOL

הצד בו הפוטנציאל גבוה בנגד הוא הצד שבו הזרם נכנס לנגד.  
**חיבור נגדים בטור:**  
 חיבור בטור נעשה כאשר הזרם בנגדים זהה  
 $R_T = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$   
 - המתח על הנגד השקול שווה לסכום המתחים  
 $V_T = V_1 + V_2 + V_3 + \dots$   
**חיבור נגדים במקביל:**  
 חיבור בטור נעשה כאשר המתח בנגדים זהה  
 $\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots$   
 - הזרם בנגד השקול שווה לסכום הזרמים  
 $I_T = I_1 + I_2 + I_3 + \dots$

**הספק המעגל** הוא סך ההספקים של הנגדים במעגל או ההספק של הנגד השקול. הספק המעגל שווה להספק המקור (בסוללה אידיאלית).  
**חוקי קירכהוף**  
 GOOL

מתאים לפתור מעגלים עם מספר מקורות מתח.

1. סך הזרמים שנכנסים לצומת שווה לסכום הזרמים שיוצאים מהצומת.  
 2. סכום המתחים בלולאה סגורה שווה לאפס.  
 נעשה לולאות מתחים עד אשר נעבור על כל הרכיבים במעגל. נוסיף משוואות זרמים ונקבל מערכת משוואות ממנה ניתן למצוא את הזרמים.

**נצילות במעגל חשמלי**  
 GOOL

**נצילות:**  
 $\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}}$   
 - נצילות המעגל.  
 $P_{out}$  - ההספק המופק/מונצל ברכיבים השימושיים במעגל  
 $P_{in}$  - ההספק המושקע (של הסוללה)

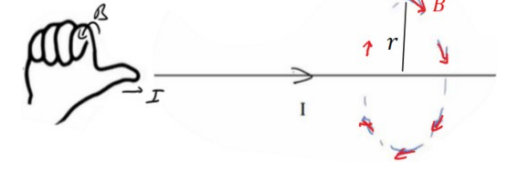
**הכוח המגנטי - חוק לורנץ**  
 GOOL

**חוק לורנץ - הכוח המגנטי:**  
 $\vec{F}_B = q\vec{v} \times \vec{B}$   
 ניתן לחשב את הכוח בשתי דרכים.  
 - דרך דטרמיננטה (ראו מכפלה וקטורית בוקטורים).  
 $F_B = qvB \sin \alpha$  : דרך גודל וכיוון בנפרד, הגודל הוא:  
 כאשר  $\alpha$  היא הזווית בין המהירות לשדה. וכיוון לפי כלל יד ימין:  
 - שימו לב שאתם עם יד ימין!  
**כיוון הכוח** הוא עבור מטען חיובי (עבור מטען שלילי הכוח בכיוון הפוך).  
 - לא להפוך את הסדר של האצבע והאמה (עדיף לעשות קודם אקדה).

**תנועה בשדה אחיד:** מטען q בעל מסה m הנע במהירות v בשדה מגנטי אחיד (המאונך למהירות) עושה תנועה מעגלית, רדיוס המעגל הוא:  
 $R = \frac{mv}{qB}$   
 אם v לא מאונך למהירות אז התנועה תהיה בורגית כאשר המעגל יהיה מסביב לשדה, רדיוס המעגל יהיה:  
 $R = \frac{mv \sin \alpha}{qB}$   
 $v \cos \alpha$  היא מהירות ההתקדמות לאורך ציר השדה.  
**עבודת הכוח המגנטי:** תמיד מתאפסת (כי הוא מאונך לתנועה).

**השדה המגנטי**  
 GOOL

סימון וקטור לתוך הדף  $\otimes$  והחוצה מהדף  $\odot$  (אלינו)  
**שדה של תיל אינסופי:**  
 $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$   
 כאשר r הוא המרחק מהתיל.  
 $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} N/A^2$  מקדם המגנטיות של הריק.  
 כיוון השדה לפי כלל יד ימין (או הבורג):

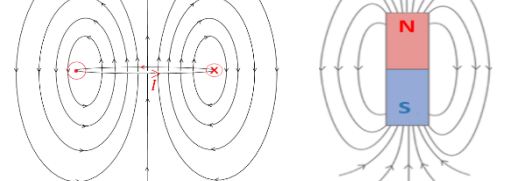


היחידות הסטנדרטיות של השדה המגנטי הן T (טסלה).

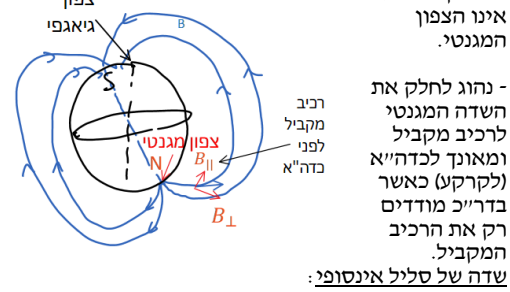
שדה במרכזו של טבעת ברדיוס R:



קווי שדה של טבעת, דיפול מגנטי (מגנטי):



**השדה המגנטי של כדור הארץ:**  
 - הצפון הגאוגרפי  
 - אינו הצפון המגנטי



נהוג לחלק את השדה המגנטי לרכיב מקביל לכדה"א (לקרקע) כאשר רק את הרכיב המקביל שדה של סליל אינסופי:

בתוך הסליל השדה אחיד ושווה ל:  $B = \frac{\mu_0 N I}{L}$

N - מספר הליפופים הכולל. L - אורך הסליל.  
ניתן להגדיר גם מספר הליפופים ליחידת אורך של

הסליל:  $n = \frac{N}{L}$

- כיוון, לפי כלל הבורג כאשר האצבעות בכיוון הזרם והאגודל בכיוון השדה.



- מחוץ לסליל וקרוב אליו ניתן להתייחס לשדה כאפס.  
**כוח על תיל נושא זרם ובין שני תילים GOOL**

גודל הכוח הפועל על **תיל ישר בשדה אחיד** באורך L הנושא זרם I הוא:  $F = BIL \sin \alpha$

$\alpha$  - היא הזווית בין השדה לכיוון הזרם.  
את כיוון הכוח יש למצוא לפי כלל יד ימין כמו בחוק לורנץ על מטען בודד כאשר כיוון הזרם (או כיוון ה-dl) מחליף את המהירות.

הכוח ליחידת אורך בין שני תילים מקבילים:  $\frac{F}{L} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d}$

d - המרחק בין התיילים.  
- כוח משיכה אם הזרמים באותו כיוון ודחייה אם בכיוונים הפוכים